

# 微细浸染型金矿含矿流体起源运移 和成矿模式初探

——以滇黔桂三角区金矿为例\*

刘显凡<sup>1</sup> 高振敏<sup>1</sup> 倪师军<sup>2</sup> 金景福<sup>2</sup> 卢秋霞<sup>2</sup>

(1 中国科学院地球化学研究所矿床地球化学开放研究实验室, 贵阳 2 成都理工学院, 成都)

**提 要:** 本文以黔西南和桂西北微细浸染型金矿硅化与金矿化密切相关为依据, 重点采用硅同位素结合硅质阴极发光分析, 再配合地质特征、成矿时代、系列元素、其它稳定同位素和流体包裹体地球化学研究并应用纳米成矿理论, 探讨了该类型金矿含矿流体的起源、运移和成矿过程, 认为原生含矿硅质流体可能主要直接起源于上地幔分异, 其运移成矿过程表现为: 沿深大断裂主通道由深至浅快速运移时, 沿途进入次级容矿构造并向不同的有利于赋矿的地层渗透交代而成矿, 初步揭示了有一定深度和埋藏封闭条件是该类型金矿成矿的有利条件, 具有在深部形成大型和超大型矿床的潜在远景。

**关键词:** 微细浸染型金矿 含矿硅质流体起源 运移演化 成矿模式 滇黔桂

## 1 矿床地质特征与成矿时代

滇黔桂“金三角区”位于扬子陆块与华南加里东褶皱系的结合部位, 属滇黔桂裂谷<sup>[1]</sup>, 其边界为断裂带所围限, 相应在裂谷内发育一系列次级断裂带和次级褶皱组成的穹隆构造, 金矿体则位于这些次级断裂中或穹隆侧翼。这些构造带具有继承早期断裂而在印支~燕山期强烈活动并进一步发展成为切穿地壳的深大断裂, 地质证据为: ① 在黔西南和桂西北分别发现呈岩墙和岩脉状零星产出的燕山期偏碱性超基性侵入岩与石英斑岩和花岗斑岩<sup>[2]</sup>; ② 配合最新地球物理研究资料<sup>[3]</sup>, 证明该区大面积隐伏有超基性-基性-酸性岩浆岩, 并对应地幔上隆; ③ 根据多种方法测定和分析确认, 该区金矿的成矿年龄基本限定在燕山晚期至喜山早期<sup>[4]</sup>。由此表明, 该区金矿应有统一的成因, 且控制裂谷和金矿分布的断裂构造具壳幔贯通性, 它们是深源矿质和流体直接进入地壳与浅源物质和流体混染并交代岩石成矿的有利通道, 并为在地壳深部成矿奠定了基础。

本区金矿的赋矿地层从寒武系至中三叠统均有, 具多时代、多层位特征, 且同一层位在不同的矿区既可赋矿, 也可不赋矿, 容矿岩石以细碎屑岩(包括凝灰质碎屑岩)和不纯碳酸盐岩为主, 也见蚀变辉绿岩和玄武岩, 可见赋矿主要与岩性有关而与地层时代无关, 但赋矿岩性也不具有专属性, 还受断裂构造和蚀变作用等因素的综合控制, 对岩性的选择只是容矿空间含义, 不具矿源层意义。这表明本区金矿不具有典型层控性, 不存在特定的矿源层<sup>[5]</sup>。

\* 中国科学院八五黄金攻关专题(KY85-12-04-02)和中国科学院矿床地球化学开放研究实验室课题(9308)联合资助  
刘显凡, 男, 41岁, 博士, 副教授, 从事矿物学、岩石学、矿床学和地球化学的教学与科研。邮政编码: 550002

## 2 硅同位素结合硅质阴极发光物源示踪分析

通过 22 件硅同位素和 28 件硅质阴极发光分析,对赋存于中三叠统、“大厂层”、上二叠统、下石炭统和印支期辉绿岩中的矿石和热液硅化石英与相应赋矿围岩进行对比研究表明<sup>[5]</sup>:在阴极发光下,原生硅化石英不发光,而围岩中的石英和次生硅化石英明显发光;与此对应,矿石和热液硅化石英与围岩的  $\delta^{30}\text{Si}$  值也可以明显分开,即:在中三叠统和“大厂层”赋矿地层中,前者在  $-0.1\text{‰} \sim -0.4\text{‰}$ ,后者(包括岩浆岩)在  $0.0\text{‰} \sim 0.3\text{‰}$ ;在上二叠统、下石炭统和印支期辉绿岩赋矿地层中,前者在  $0.3\text{‰} \sim 0.5\text{‰}$ ,后者在  $-0.1\text{‰} \sim -0.2\text{‰}$ ;这些结果均表明原生成矿硅质与围岩硅质的来源不同<sup>[6,7]</sup>,由此揭示原生矿质并非围岩提供;此外,上述数据中,由矿石和热液硅化石英代表的成矿硅质流体的  $\delta^{30}\text{Si}$  值表现为由新地层( $T_2$ 和“大厂层”)到老地层( $P_2$ 、 $C_1$ 和印支期辉绿岩)由小于零的负值( $-0.1\text{‰} \sim -0.4\text{‰}$ )到小于 1 的正值( $0.3\text{‰} \sim 0.5\text{‰}$ )变化,这主要决定于流体运移过程中硅同位素的动力学分馏<sup>[8]</sup>,即:在构造和底劈岩浆活动提供的热动力驱动下,起源于深部的含矿硅质流体沿深大断裂主通道快速向上运移,此过程中流体自身不会发生硅同位素分馏;当流体沿途进入不同地层的次级容矿构造裂隙中,由于容矿环境的封闭性一般是深部较浅部好,且深部温压条件相对高于浅部,因此流体在深部(较老地层)容矿构造相对在浅部(较新地层)容矿构造中驻留时间较长,硅质结晶较慢,由此引起的硅同位素动力分馏较强;从而导致较新地层中原生硅化的  $\delta^{30}\text{Si}$  值低于较老地层中原生硅化的  $\delta^{30}\text{Si}$  值;再利用溶解硅和沉淀硅的  $\delta^{30}\text{Si}$  变化的瑞利分馏模式<sup>[8]</sup>半定量地模拟原生成矿硅质的沉淀结晶过程表明:在较新赋矿地层( $T_2$ 和“大厂层”)中的最大沉淀量约为 43%~57%,在较老赋矿地层( $P_2$ 、 $C_1$ 和印支期辉绿岩)中增加为 72%~79%;可以相信,原生成矿硅质的沉淀量越大,矿质的沉淀量会相应增大。这表明有一定深度和埋藏封闭条件是该类型金矿成矿的有利条件,并有在深部形成大型和超大型矿床的潜在远景。

## 3 成矿流体中金的可能迁移形式讨论

通过对 20 件成矿热液作用形成的石英和方解石中流体包裹体的系列物理化学条件研究表明<sup>[5]</sup>:本区金矿成矿流体的  $f_{\text{O}_2}$  极低,一般小于  $10^{-40}$ ,pH 值显示弱碱性,Eh 值较低,一般小于  $-0.4\text{ eV}$ , $f_{\text{S}_2}$  也较低,一般小于  $10^{-12}$ ,成矿流体被捕获时的温度,即  $\text{SiO}_2$  发生沉淀时的温度一般低于  $300^\circ\text{C}$ ,成矿压力一般低于 70 MPa。可以相信,成矿流体中  $\text{SiO}_2$  浓度必定比总硫浓度高得多。因此,在地壳条件下 Au 首选以金-硅配合物形式进行一定距离的迁移,与此同时,成矿流体在运移至地壳后存在局部地壳或地层硫的加入<sup>[9]</sup>,并伴随流体温压降低, $\text{SiO}_2$  先于硫化物晶出,导致流体中总硫浓度升高,进而产生金-硫配合物形式的短距离迁移,而金-氯配合物在一般成矿条件下( $\lg f_{\text{O}_2} = -25 \sim -45$ , $\text{pH} = 4 \sim 8$ )很难独立存在<sup>[10]</sup>。然而,从动态演化的角度分析,成矿流体中物理化学条件<sup>[5]</sup>由早期→主期→晚期成矿阶段,温度、压力和  $f_{\text{S}_2}$  由高至低变化,Eh 值则由低至高变化, $f_{\text{O}_2}$  保持极低状态;pH 值徘徊于近中性-弱碱性。由此推测,成矿前的原始成矿流体应处于高温、高压和还原的条件,这符合上地幔分异起源的基本物理化学条件,这种条件下的  $\text{SiO}_2$  应处于高度溶解

状态 (Walther J V et al. & Fournier R O et al., 1977), 但 Au 却应处于原子状态, 而非与  $\text{SiO}_2$  和 S 的配合物形式<sup>[11]</sup>。那么, 这种条件下的原子状态自然金是否会沉淀而不能迁移呢?

章振根<sup>[12]</sup>和李景春<sup>[11]</sup>等根据纳米理论, 结合在黔西南金矿中普遍发现有纳米微粒自然金, 提出了“纳米矿床学”和“纳米成矿论”的概念。已知纳米科技制备纳米材料的一种方法可简称为高压蒸气法, 即高压和蒸气两种作用的结果。有理由推测, 由深大断裂引发的上地幔分异成矿流体喷出的时刻, 即是高压和蒸气同时释放的环境。因此, 上地幔分异含矿流体的 Au 很可能呈纳米微粒自然状态迁移。

#### 4 深源成矿流体可能的起源和演化方式

近年来的大量研究证实了可由地幔直接产生高温硅碱质超临界深源流体, 并可在高温高压还原状态下从地幔运载大量成矿物质进入地壳成矿, 而地幔流体从源区上升, 推测与地球脱气作用 (degassing) 有关, 基本控制因素包括<sup>[18]</sup>:

(1) 地球的原始化学组分不均一性, 核幔间及上、下地幔间物质与能量的交换, 深部地幔对流机制等可能导致地幔以及核幔热界面 P 型源区的产生与原始挥发份和活动元素的高度富集, 进而构成地幔喷流柱<sup>[14,19]</sup>;

(2) 大陆热点、裂谷系等岩石圈破裂的产生及其持续活动起着抽水系统的作用, 使其四周的上地幔广阔范围变成矿源储存库, 聚集挥发分和活动元素, 而此时地壳的基底起着屏障的作用, 阻挡着深部地幔活动组分的逸出, 挥发分处于近似平衡的分布状态<sup>[18]</sup>。在这种充满力的平衡的一触即发的条件下, 一旦再次发生超壳深大断裂, 尤其是发生热点穿刺的部位, 便成为地球脱气作用或上地幔成矿流体形成巨流穿越壳-幔界面进入地壳或达到地球表面的通道。

对本区金矿岩相和矿相研究发现<sup>[5]</sup>: 闪锌矿出溶黄铜矿、石英溶离黄铁矿和毒砂, 且出现辉砷钴矿, 这表明金矿的成矿流体在由上地幔分异起源时具熔融流体性质, 此后在上升运移过程中逐步演变为液相流体。根据系列稳定同位素地球化学示踪研究<sup>[9,15]</sup>表明:<sup>40</sup>Ar/<sup>36</sup>Ar 比值在 295.5~1182.4, 硫、铅同位素均显示幔源与壳源混染, 铷锶和氢氧同位素显示深源水与地壳中多来源水混染, 方解石的碳同位素组成主体在 -8.71‰~-0.13‰ 范围内变化 (何立贤, 1993; 李福春, 1992; 刘家军、朱赖民, 1995); 常量元素<sup>[5]</sup>、微量元素<sup>[16]</sup>和稀土元素<sup>[17]</sup>研究也显示矿质和流体可能主要来源于上地幔; 再结合前述本区含矿的地质特征和成矿时代, 可以认为起源于上地幔的富硅含矿流体, 在由深至浅运移过程中, 流体的温度压力和还原性随壳幔相互作用而降低, 产生硅质、硫化物、粘土矿物和矿质的沉淀, 并相应伴随混染源的加入, 即上地幔分异熔融流体在演变为热液的过程中对地壳 (地层) 岩石进行交代蚀变而成矿。

#### 5 微细浸染型金矿可能的成矿模式

综上所述, 滇黔桂三角区微细浸染型金矿的成矿模式可作如下概括。

本区自泥盆纪开始到三叠纪结束, 伴随裂谷的发育和演化直至封闭, 深大断裂和岩浆活动的发展, 尤其是双峰式火山岩的形成和地幔隆起<sup>[1,3]</sup>, 起到了类似抽水系统的作用, 使其

四周的上地幔广阔范围变成矿源贮存库<sup>[14]</sup>, 聚集了大量富含挥发份和活动元素的成矿流体; 而此时地壳的基底和盖层起着屏障作用, 使封闭于上地幔中的成矿流体与岩石圈处于强力平衡状态中<sup>[13]</sup>; 进入侏罗纪后的燕山晚期。再次爆发强烈造山运动, 使原有封闭的深大断裂再度复活, 形成超壳深断裂, 使早已聚集并处于一触即发状态的上地幔分异成矿流体形成巨流穿越壳幔界面进入地壳; 流体在穿越界面时, 由于高压和蒸气的共同作用, 使流体中的金呈纳米微粒自然金胶粒迁移; 伴随燕山运动发育的深部岩浆活动为成矿流体运移提供热动力源, 而非矿源; 伴随流体运移过程中温度、压力和还原性降低, 以及地壳或地层硫、其它某些组分、地层建造水乃至大气降水的局部和部分加入, 一方面可能使部分纳米微粒自然金胶粒转化为金-硅配合物和金-硫配合物形式在一定范围内迁移, 另一方面, 这3种迁移形式又可能随流体中石英、硫化物和粘土矿物沉淀结晶所致的流体组分变化等因素作用而沉淀和分解出纳米微粒自然金, 并同时分散吸附或包裹于晶出的硫化物和粘土矿物中, 最终形成微细浸染型金矿床, 而且深部较浅部更有利于矿床的形成和保存, 因而该类型金矿具有在深部形成大型或超大型矿床的潜在远景。

### 参 考 文 献

- 1 夏邦栋, 刘洪磊, 吴运高. 滇黔桂裂谷. 石油实验地质, 1992, 14 (1): 20~30.
- 2 杨科佑, 陈丰, 苏文超等. 滇黔桂地区卡林型金矿的地质地球化学特征及找矿前景. 中加金矿床对比研究. 北京: 地震出版社, 1994: 17~30.
- 3 王砚耕, 王立亭, 张明发. 南盘江地区浅层地壳结构与金矿分布模式. 贵州地质, 1995, 12 (2): 79~100.
- 4 胡瑞忠, 苏文超, 李泽琴等. 滇黔桂三角区微细浸染型金矿床成矿热液一种可能的演化途径: 年代学证据. 矿物学报, 1995, 12 (2): 144~149.
- 5 倪师军, 刘显凡, 金景福, 卢秋霞. 滇黔桂三角区微细粒浸染型金矿成矿流体地球化学. 成都: 成都科技大学出版社, 1997, 9.
- 6 赖勇. 山东文登金矿成矿条件及成矿过程. 矿床地质, 1995, 14 (3): 281~289.
- 7 丁梯平等. 硅同位素地球化学. 北京: 地质出版社, 1994.
- 8 李延河, 丁梯平, 万德芳. 硅同位素动力学分馏的实验研究及地质应用. 矿床地质, 1994, 13 (3): 282~287.
- 9 刘显凡, 倪师军, 苏文超. 滇黔桂微细浸染型金矿同位素地球化学特征与深源流体成矿. 矿物岩石, 1996, 16 (4): 106~111.
- 10 王声远, 樊文苓, 田弋夫. Au 在  $\text{SiO}_2 - \text{HCl} - \text{H}_2\text{O}$  体系中 200℃ 溶解度测定—硅化对金矿化的意义初探. 矿物学报, 1994, 14 (1): 46~55.
- 11 李景春. 金在热液流体中存在形式的讨论: “纳米效应”在成矿理论中的应用. 贵金属地质, 1995, (4): 306~310.
- 12 张振根, 姜泽春. 纳米矿床学: 一门有前途的新科学. 矿产与地质, 1993, (3): 161~165.
- 13 王登红. 试论热柱—热点体系与成矿系列的关系. 矿物岩石地球化学通报, 1996, (1): 57~58.
- 14 曹荣龙, 朱寿华. 地幔流体与成矿作用. 地球科学进展, 1995, (4): 323~329.
- 15 刘显凡, 刘家军, 朱赖民, 卢秋霞. 滇黔桂微细浸染型金矿铅同位素组成及应用. 矿物岩石地球化学通报, 1997, 16 (3): 178~182.
- 16 刘显凡, 倪师军, 金景福. 滇黔桂微细浸染型金矿成矿物质来源的微量元素地球化学示踪. 大地构造与成矿学, 1997, 21 (3): 205~212.
- 17 刘显凡, 金景福, 倪师军. 滇黔桂微细浸染型金矿深部物源的稀土元素证据. 成都理工学院学报, 1996, 23 (4): 25~30.
- 18 Bailey D K. Volcanism, earth degassing and replenished lithosphere mantle. In: The evidence for chemical heterogeneity in the earth's mantle (The Royal Society of London ed) 1980: 173~186.
- 19 McDonough W F et al. Isotopic and geochemical systematics in Tertiary-Recent basalts from south-eastern Australia and implications for the evolution of the sub-continental lithosphere. Geoch. et Cosmoch. Acta, 1985, 49: 2051~2067.